Journal of Agricultural Machinery
Vol. 9, No. 2, Fall - Winter 2019, p. 399-414

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۹، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۸، ص ۴۱۴-۳۹۹

اولویت‌بندی و ارزیابی خرابی‌های اجزای مکانیکی ماشین تراش CNC مبتنی بر رویکرد FMEA فازی

علی ویسی[۱]- عباس روحانی[۲*]- محمد طبسی زاده[۳]- رسول خدابخشیان[۳]- فرهاد کلاهان[٤]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۱۵

چکیده

شناسایی خطرات و ارزیابی ریسک، روشی سازمان‌یافته نظام‌مند برای اولویت‌بندی ریسک‌ها و تصمیم‌گیری در راستای کاهش ریسک، با توجه به اهمیت مدیریت یکپارچه دارایی‌های فیزیکی در راستای بهبود قابلیت اطمینانِ سیستم‌های بحرانی در ماشین CNC و نیز پیوستگی عملیات ماشین‌کاری و کاهش توقف تولید بسیار حائز اهمیت است. با توجه به حجم وسیع کاربرد فرآیندهای ماشین‌کاری با CNC در صنایع قطعه‌سازی به‌ویژه ماشین‌های کشاورزی، مطالعه پیرامون تحلیل ریسک و مدیریت آن یک الزام مهم به‌شمار می‌رود. لذا این پژوهش با هدف شناسایی و اولویت‌بندی عوامل شکست اجزای مکانیک ماشین CNC که موجب وقفه در عملکرد آن می‌شوند انجام گرفت. در این پژوهش از تکنیک تجزیه و تحلیل حالات خرابی و اثرات آن (FMEA) در دو حالت مرسوم و فازی برای ارزیابی ریسک اجزای مکانیک ماشین تراش CNC استفاده و نتایج آن‌ها مقایسه شد. طبق نظرات کارشناسان برای اجزای مکانیک ماشین CNC تراش در مجموع ۷ سیستم مهم و ۳۰ زیر سیستم وجود دارد که حالت‌های خرابی عمدتاً در آن‌ها اتفاق می‌افتد. پس از ارزیابی مشخص شد که ۲ سیستم اجزای محور و روان‌کاری حالت‌های خرابی‌شان در اولویت اول برای اقدامات کنترلی و اصلاحی قرار دارد. نتایج نشان داد رتبه‌بندی دقیق‌تر در روش FMEA فازی موجب بهبود اولویت‌بندی شده و در نتیجه بستر مناسب‌تری برای برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات فراهم می‌کند.

واژه‌های کلیدی: اولویت‌بندی، FMEA فازی، ماشین CNC، مدیریت ریسک

مقدمه

امروزه جامعه تولیدی در حال پیگیری مداوم بهبود کیفیت محصولات است. در گذشته اکثر فرآیندهای ماشینکاری به صورت دستی انجام می‌شد، اما اکنون با دستگاه‌های کنترل عددی کامپیوتری[۴] (CNC) انجام می‌شود. این ماشین از کنترل عددی کامپیوتری برای کنترل ابزارهای ماشین مانند تراش، برش، سنگ‌زنی و فرز با هدف خودکارسازی فرآیند ماشین‌کاری استفاده می‌کند. این دستگاه‌ها به لحاظ نوع نرم‌افزاری که برای کنترل دستگاه استفاده می‌شود با کامپیوترهای شخصی متفاوت است. غالباً در دستگاه‌های ماشین‌کاری از زبان جی کد برای کنترل دقیق ویژگی‌هایی همچون سرعت، موقعیت، هماهنگی و میزان تغذیه استفاده می‌شود (Chiu and Lee, 2017). ماشین تراش CNC نوعی از ماشین‌های CNC است که در طول سال‌های گذشته به علت انعطاف‌پذیری ذاتی، دقت ماشین‌کاری و بهره‌وری بالا به‌طور فزاینده‌ای در فرآیند ماشین‌کاری مورد استفاده قرار گرفته و تکنولوژی‌های آن توسط محققان در سراسر جهان مطالعه و ترویج شده است. وقوع شکست در زیر سیستم‌های تراش CNC موجب توقف کار دستگاه و در نتیجه تولید، افزایش هزینه، دشوارتر شدن تعمیر و مشکلات فراوان در بعد ایمنی تولید می‌شود (Lata *et al.*, 2016). همچنین در سال‌های اخیر، با توسعه محصولات با کارایی و دقت بالا، خواسته‌های بیشتری در ویژگی‌های ماشین ابزار CNC به‌وجود آمده، بنابراین ممکن است حالت‌های شکست بیشتری با ساختار پیچیده و چندمنظوره ایجاد شود. در نتیجه، اهمیت قابلیت اطمینان ماشین ابزار CNC، توجه شرکت‌ها و مؤسسات را به تحقیق در مورد قابلیت اطمینان تجهیزات ماشین‌های CNC معطوف کرده (Yang *et al.*, 2010). با توجه به هدف اصلی نگهداری و تعمیرات مبنی برکاهش ریسک و مدیریت عملکرد تجهیز

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲- دانشیار، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۳- استادیار، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۴- دانشیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: arohani@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/jam.v9i2.73103
4- Computer Numerical Control

در طی چرخه عمر آن به نحوی که قابلیت اطمینان سیستم افزایش و هزینه‌های اجرایی آن کاهش یابد، به همین منظور باید رویکردی مناسب برای بهره‌برداری و نگهداری از تجهیز اتخاذ کرد. یکی از رویکردها تعمیرات پیش‌اقدام است که لازمه آن شناخت درست تمامی حالات شکست از طریق تجزیه و تحلیل حالات خرابی و آثار آن (FMEA)[1] است. این شناخت کمک می‌کند که پیامدهای حالات شکست مورد بررسی قرار گرفته و با اولویت‌بندی حالات خرابی و تعیین بحرانی‌ترین حالت نسبت به پیش‌بینی، پیشگیری و انجام اقدامات اصلاحی اقدام شود. روش FMEA یکی از بهترین روش‌ها در تجزیه و تحلیل سیستم‌ها، به‌خصوص زمانی که سیستم‌ها پیچیده و دارای بخش‌های بسیاری هستند، می‌باشد. این روش کمک می‌کند تا نگهداری را در حالت‌های شکست مورد نظر هدایت کرده و باعث جلوگیری از علل شکست بحرانی شود (Gupta and Mishra, 2017). از سوی دیگر پیاده‌سازی روش FMEA می‌تواند نقش مهمی در تعیین پیامدهای علل خرابی و نیز فراهم آوردن فعالیت‌های نگهداری بهینه که در نهایت بر بهبود سیستم‌های نگهداری تجهیزات تأثیر می‌گذارد داشته باشد (Mandal and Maiti, 2014). در FMEA باید تمام حالت‌های خرابی احتمالی سیستم شناسایی و برای تمام حالت‌ها سه پارامتر تعیین‌کننده عدد ریسک[2] (RPN) یعنی شدت وقوع[3] (S)، احتمال وقوع[4] (O) و عدم تشخیص[5] (D) را تعیین کنیم. در این روش هدف اولویت‌بندی حالت‌های خرابی سیستم به‌منظور اختصاص منابع محدود به بحرانی‌ترین خطر در سیستم است. در روش FMEA شاخص RPN، سطح مربوط به وقوع یک خرابی را که مناسب و سازگار نیست بیان می‌کند. این شاخص به دلیل پذیرش معیارهای احتمال وقوع، مشخصه شدت و توانایی تشخیص مشکلات در بسیاری از صنایع‌های مختلف استفاده می‌شود (Liu *et al.*, 2013). از روش FMEA در حوزه‌های مختلف تحقیقاتی مثل کشاورزی و صنعت استفاده شده؛ مانند استفاده از روش FMEA به منظور انجام شخم مطلوب با گاوآهن برگردان‌دار که توسط نامداری و همکاران (۲۰۱۱) انجام شد. نتایج نشان داد بزرگ بودن قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها، ناشی از عوامل مدیریتی تأثیرگذاری مانند، رطوبت کم، سرعت پیشروی کم و عمق شخم زیاد می‌باشد که به‌ترتیب دارای بالاترین عدد اولویت ریسک می‌باشند (Namdari *et al.*, 2011)، همچنین در تحقیق دیگری که روی ارزیابی ریسک ماشین تراش در واحدهای تولید صنعتی انجام شد، ضمن ارزیابی عدد RPN برای اجزاء، نتایج نشان داد در ماشین تراش نظام وسط دارای بالاترین عدد ریسک بوده و به لحاظ بحرانی بودن دارای اولویت می‌باشد (Kamalnia and Amjad Sardroodi, 2011).

اگرچه روش FMEA متداول به‌طور گسترده در منابع تحقیقات مورد استفاده قرار گرفته است. اما به دلیل روشی که برای محاسبه شاخص عدد اولویت ریسک دارد همواره مورد انتقاد محققان است. مهم‌ترین ناکارآمدی‌های این روش به شرح زیر است؛ ۱- مقادیر متغیرهای ورودی این روش اغلب براساس تجربیات تیم‌کاری و قضاوت خبرگان به‌دست می‌آید، که این امر موجب ایجاد تناقضات و اشتباهات در امر قضاوت خواهد شد. ۲- ترکیبات مختلف متغیرهای ورودی ممکن است مقادیر یکسانی برای RPN داشته باشند، در صورتی که ممکن است مفاهیم خطر کاملاً متفاوتی از یک‌دیگر داشته باشند. ۳- در روش متداول فرض بر این است که پارامترهای ورودی اهمیت نسبی یکسانی دارند. در صورتی که در واقعیت، درجه اهمیت و وزن این پارامترها می‌تواند متفاوت باشد. ۴- روش محاسبه نمره اولویت ریسک تنها حاصل‌ضرب مستقیم ورودی را در نظر گرفته و روابط غیرمستقیم بین متغیرها را مد نظر قرار نمی‌دهد. از این رو با توجه به مشکلات و ناکارآمدی رویکرد سنتی، تحقیقات بسیاری با هدف توسعه و بهبود این روش انجام شده است. یکی از راه‌حل‌های موجود برای رفع این ناکارآمدی‌ها، ترکیب این رویکرد با منطق فازی که تحت عنوان الگوریتم Fuzzy-FMEA نام دارد، می‌باشد (Dağsuyu *et al.*, 2016). منطق فازی رویکردی است مناسب برای مواردی که داده کافی در دسترس نیست، جمع‌آوری داده مشکل یا داده‌ها به‌صورت متغیرهای زبانی و ذهنی می‌باشند.

در بخش ارزیابی سیستم‌ها، روش FMEA فازی با محاسبه RPN برای حذف نقص‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به اهمیت FMEA فازی و اثرات آن تاکنون، مطالعات بسیاری با استفاده از این روش در زمینه‌های مختلف برای جلوگیری از وقوع خرابی و کاهش آسیب ناشی از آن انجام شده است. به‌طور مثال؛ تحقیق در مورد تجهیزات سیستم‌های هواپیمایی (Yazdi *et al.*, 2017)، سیستم‌های مهندسی هسته‌ای (Guimarães and Lapa, 2007)، صنایع نظامی (Shukla *et al.*, 2014)، صنایع نفت و گاز (Shahriar *et al.*, 2012)، صنایع فولاد (Ebrahemzadih *et al.*, 2014)، صنایع خودروسازی (Chin *et al.*, 2008)، تجهیزات پزشکی (Chanamool and Naenna, 2016). درخصوص ماشین‌های CNC که موضوع تحقیق حاضر می‌باشد، یانگ و همکاران (۲۰۱۰)، از مدل FMECA[6] با استفاده از تئوری فازی برای تحلیل خرابی‌های نوعی ماشین تراش CNC استفاده کردند. نتایج نشان داد که به‌کاربردن روش FMEA فازی در تراش CNC یک روش مناسب و متناظر با تولید است و پایه اعتبار برای ساخت مدل طراحی قابلیت

1- Failure mode and effect analysis
2- Risk priority number
3- Severity
4- Occurrence
5- Detection

6- Failure mode, effects, and criticality analysis

اطمینان یا پشتیبانی از طرح‌های کنترل تولید می‌باشد (Yang *et al.*, 2010). لی و همکاران (۲۰۱۶) مطالعه‌ای روی تجزیه و تحلیل حالت خرابی یک مرکز ماشین‌کاری با هدف در نظر گرفتن عدم قطعیت در قضاوت کارشناسان انجام دادند و از توزیع احتمالی پارامترهای ریسک و تلفیق اطلاعات توزیع احتمالی استفاده و با تحلیل جامع رو پارامترهای ریسک حالت‌های خرابی را رتبه‌بندی کردند (Li *et al.*, 2016). در مطالعه دیگری از روش FMECA برای تجزیه و تحلیل خرابی سیستم تغذیه مراکز ماشینکاری CNC استفاده شد (Wang *et al.*, 2016). گوپتا و میشرا (۲۰۱۷)، مطالعه‌ای روی حالت‌های مختلف شکست در دستگاه فرز CNC انجام دادند. آن‌ها در این بررسی علاوه بر مشخص کردن اولویت حالت‌های بحرانی، برای اصلاح و جلوگیری از آن‌ها از استراتژی‌های مختلف نت به منظور برنامه‌ریزی و انجام اقدامات اصلاحی استفاده کردند (Gupta and Mishra, 2017). در سال ۲۰۱۷ از روش FMEA در صنعت سوپاپ‌های GG با هدف آنالیز ماهیت چند رشته‌ای خرابی‌های عملکردی ماشین CNC استفاده شد (Salvi, 2017).

در سال‌های اخیر، با توسعه محصولات صنعتی با کارایی بالا و دقیق، تقاضای استفاده از ماشین‌های CNC افزایش یافته و با پیشرفت تکنولوژی‌های آن حالت‌های خرابی بیشتری با ساختار پیچیده و چند منظوره ایجاد شده است. همچنین ضرورت قابلیت اطمینان ماشین‌های CNC، به دلیل تأثیر آن بر تولید و هزینه‌های اجرایی آن بیش از پیش نمایان شده است. با توجه به هدف کاهش ریسک و مدیریت عملکرد اجزای ماشین CNC به منظور افزایش قابلیت اطمینان و کاهش زمان توقف، شناسایی تمامی حالات شکست و اولویت‌بندی آن‌ها جهت تعیین حالات بحرانی و اتخاذ رویکرد درست تعمیرات پیش‌اقدام از اهمیت بالایی برخوردار است. با توجه به مطالعات پیشین FMEA در حوزه ماشین‌های CNC تاکنون تمامی اجزای مکانیکی دستگاه تراش CNC در کنار یک‌دیگر به لحاظ تجزیه و تحلیل حالات خرابی و تعیین بحرانی‌ترین حالت مورد تجزیه و تحلیل قرار نگرفته‌اند، لذا در این پژوهش به صورت جامع تمامی اجزای مکانیکی دستگاه تراش CNC مورد بررسی قرار گرفت. همچنین با توجه به معایب روش FMEA متداول که ذکر شد و عدم اطمینان از فاکتورهای ریسک، از روش فازی برای اولویت‌بندی حالت‌های خرابی تجهیز و با هدف ارزیابی دقیق ریسک استفاده شد.

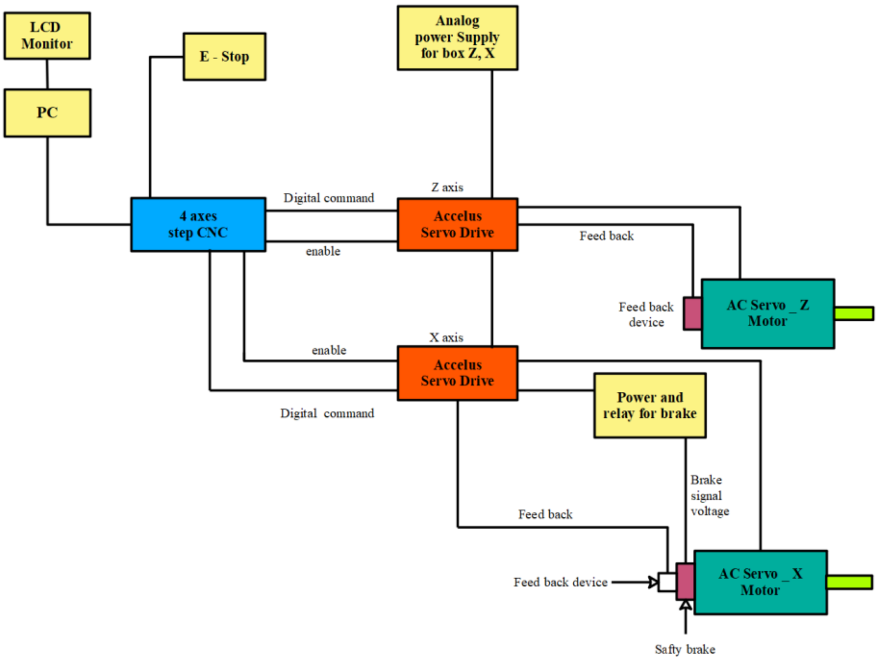
مواد و روش‌ها

FMEA روشی مناسبی برای شناسایی و از بین بردن خرابی‌های بالقوه، بهبود قابلیت اطمینان، افزایش ایمنی سیستم و ارائه اطلاعات جهت تعیین تصمیمات مدیریت ریسک می‌باشد (Karbasian *et al.*, 2016). لذا پژوهش حاضر به‌منظور رتبه‌بندی خرابی‌های اجزای مکانیکی ماشین تراش CNC با هدف تعیین بحرانی‌ترین عضو با روش‌های FMEA متداول و فازی به صورت میدانی، به کمک تیم نگهداری و تعمیرات شرکت کیهان صنعت قائم واقع در استان خراسان رضوی صورت گرفت، که در ادامه ابتدا شرح مختصری از اجزای مکانیک تشکیل‌دهنده ماشین تراش CNC و نحوه عملکرد آن‌ها سپس به تشریح دو روش متداول و فازی پرداخته خواهد شد.

ماشین تراش CNC و نحوه عملکرد آن

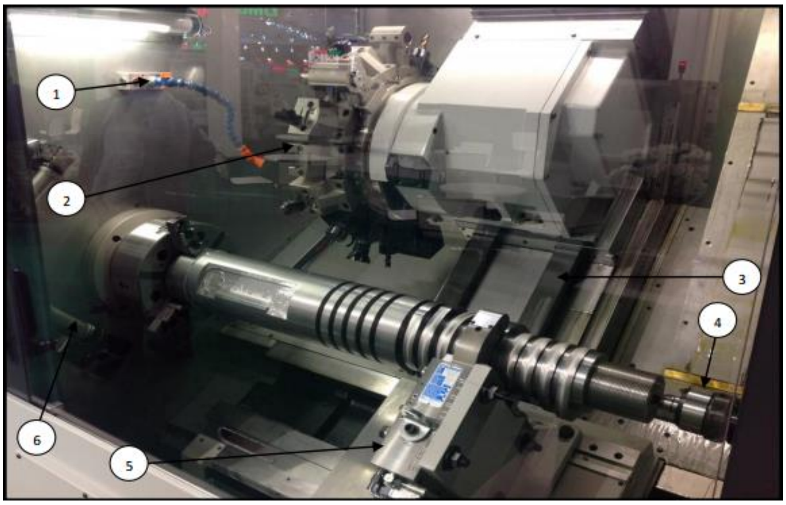
ماشین تراش CNC ماشینی است که در آن قطعه کار حرکت دورانی و ابزار حرکت خطی دارد. در این ماشین‌ها عموماً از دو محور X و Z استفاده می‌گردد، که محور Z به‌عنوان محور اولیه (افقی) و محور X به‌عنوان محور ثانویه (عمودی) شناخته می‌شود. ماشین‌های تراش به لحاظ نوع بستر طراحی به دو دسته بستر افقی و بستر شیب‌دار تقسیم می‌شوند. ماشین تراش CNC مورد بررسی در این پژوهش از نوع بستر افقی می‌باشد. شکل ۱ و ۲ بلوک دیاگرام و اجزای مکانیکی داخل ماشین تراش CNC را نشان می‌دهد.

در این مطالعه به منظور ایجاد مدل FMEA فازی برای اولویت‌بندی حالت‌های خرابی اجزای مکانیکی ماشین تراش CNC تمامی حالت‌های خرابی شناسایی شد. این اجزاء شامل ۷ سیستم اصلی که از ۳۰ زیر سیستم تشکیل شده‌اند. این ۷ سیستم عبارتند از: سیستم هیدرولیک، سیستم پنوماتیک، سیستم تعویض ابزار و ابزارگیر، اجزای محورهای Z و X، سیستم روان‌کاری، سیستم خنک‌کاری و سایر ماشین‌افزارها که نمودار درختی آن‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است.



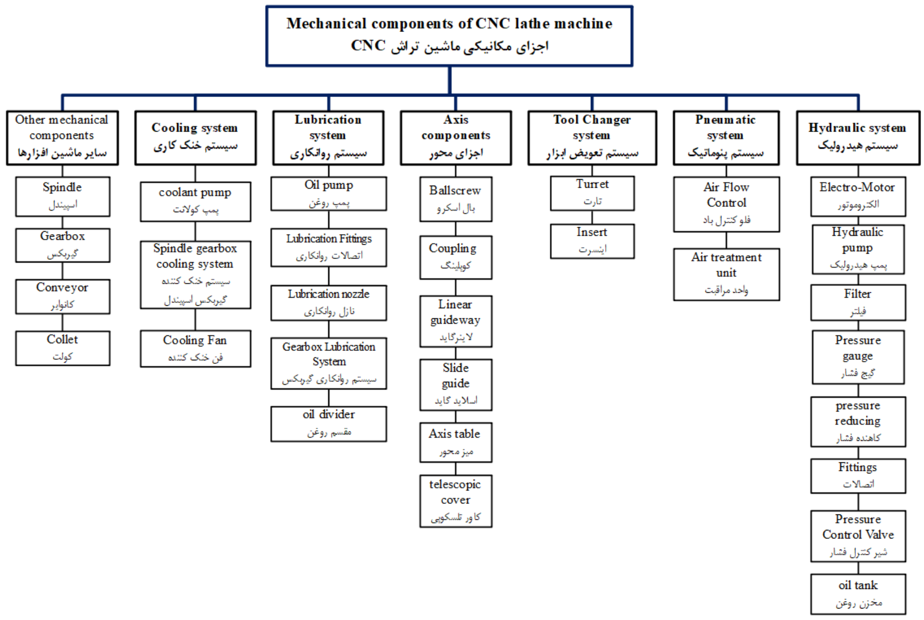
شکل ۱- بلوک دیاگرام ماشین تراش CNC

Fig. 1. CNC lathe machine block diagram



شکل ۲- اجزای مکانیک داخل ماشین تراش CNC: ۱- سیستم کولانت، ۲- تارت، ۳- ال ام گاید، ۴- مرغک، ۵- کارگیر ۶- سیستم هیدرولیک

Fig. 2. Mechanical parts inside the CNC lathe machine: (1) Coolant system, (2) Turret, (3) LM Guide, (4) Tailstock, (5) Job holder, (6) Hydraulic system



شکل ۳– اجزای مکانیکی ماشین تراش CNC بستر افقی

Fig. 3. Horizontal CNC lathe mechanical components

روش متداول

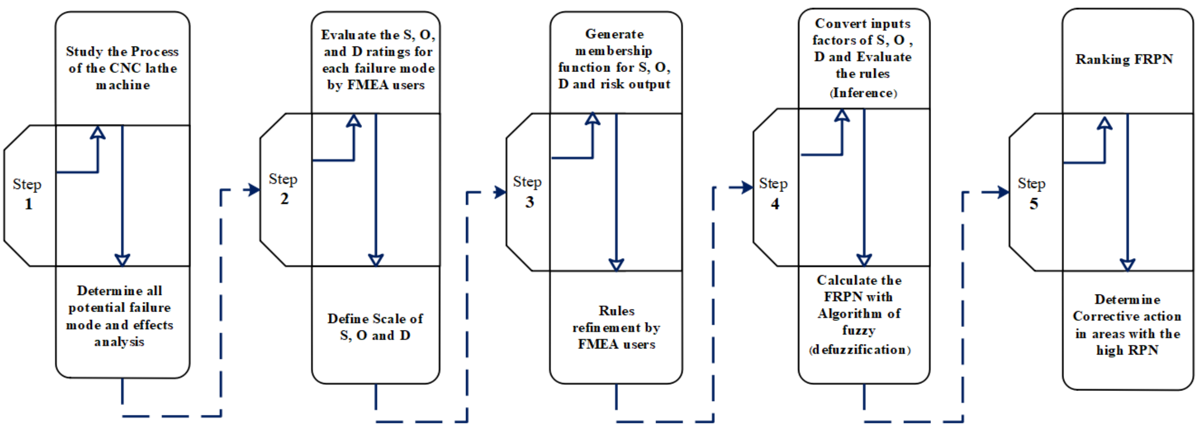
در روش FMEA برای محاسبه RPN سه پارامتر کلیدی S، O و D مورد استفاده قرار می‌گیرد که طبق رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$RPN = S \times O \times D \quad (۱)$$

در روش متداول FMEA، پس از محاسبه RPN به اولویت‌بندی حالت‌های خرابی می‌پردازیم. در این روش اهمیت نسبی پارامترهای S، O و D در نظر گرفته نشده و آن‌ها به یک اندازه مهم در نظر گرفته می‌شوند، همچنین روابط بین پارامترها مستقیم و خطی در نظر گرفته شده که در واقعیت این گونه نیست. با توجه به ضعف‌ها و ناکارآمدی‌های روش FMEA متداول، تحقیقات متعددی با هدف بهبود عملکرد آن انجام شده است. یکی از راه حل‌های موجود برای رفع این ناکارآمدی، ترکیب این روش با منطق فازی است.

طراحی روش فازی

این پژوهش از FMEA فازی که روشی در حوزه برنامه‌های قابلیت اطمینان است به منظور مشخص کردن ریسک‌ها در اجزای مکانیک ماشین تراش CNC و تمامی حالت‌های خرابی بالقوه آن استفاده شد. برای استخراج اطلاعات از متخصصان، عمدتاً از کارشناسان و تحلیلگران ماشین CNC، که اطلاعات دقیقی در مورد فرآیند کار اجزای CNC داشتند استفاده گردید. این کارشناسان با استفاده از عبارت‌های زبانی پارامترهای S، O و D را اولویت بندی کردند. مراحل انجام روش تحقیق حاضر به‌طور خلاصه در شکل ۴ ارائه شده است.



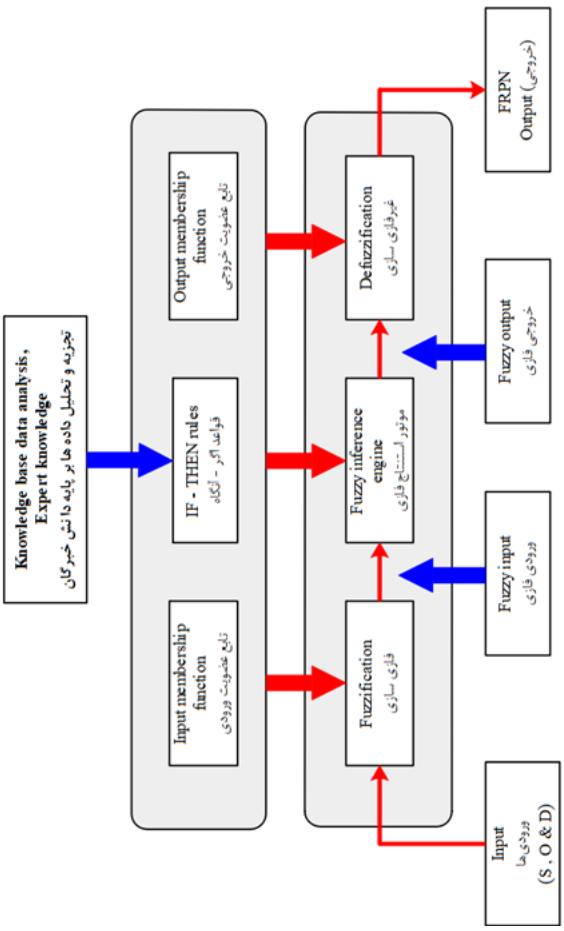
شکل ٤– مراحل انجام روش تحقیق

Fig. 4. Steps of perform the research method

مطابق با شکل ۴ روش FMEA فازی در این پژوهش در پنج بخش اجرا شد: (۱) شناسایی فرآیند کار در ماشین تراش CNC و مطالعه و بررسی نحوه عملکرد اجزای آن، همچنین در این مرحله تمامی حالات خرابی اجزای مکانیکی CNC و اثرات آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. در مرحله (۲) به ارزیابی هریک از سه پارامتر ریسک برای هر حالت خرابی یا شکست و رتبه بندی آن‌ها می‌پردازیم. برای رتبه بندی با استفاده از داده‌های قطعی[1] معمولاً از اعداد مقیاس ۱ تا ۱۰ استفاده می‌شود، سپس با استفاده از عبارت‌های زبانی مقادیر قطعی به فازی تبدیل می‌شوند (فازی سازی). (۳) برای کنترل مقادیر خروجی از ۱۲۵ قاعده برای اصلاح پارامترهای ورودی استفاده شد (استنتاج). (۴) برای تبدیل پارامترهای ورودی به مقادیر فازی و انتقال قواعد کیفی به نتایج کمی از الگوریتم استنتاج فازی ممدانی استفاده شد (استنتاج). در ادامه مقادیر خروجی استنتاج را به RPN فازی تبدیل می‌کنیم (غیرفازی‌سازی). در مرحله پایانی (۵) RPN خروجی را که با الگوریتم فازی محاسبه شده و غیرفازی گشته را رتبه‌بندی می‌کنیم و اقدامات اصلاحی را برای RPNهای سطح بالا تعیین می‌کنیم. در این روش ابتدا داده‌های ورودی قطعی با استفاده از متغیرهای زبانی و تابع عضویت به مقادیر فازی تبدیل می‌شوند که اصطلاحاً به این مرحله فازی‌سازی می‌گویند. سپس در سیستم منطق فازی قواعدی در نظر گرفته می‌شود که به‌عنوان هسته استنتاج فرآیند می‌باشد. استنتاج بستگی به تنظیم قواعد برای ارزیابی قواعد و ترکیب نتایج تصمیم‌های سیستم دارد. در پایان مرحله غیرفازی‌سازی قرار دارد که مقادیر فازی به مقادیر قطعی تبدیل می‌شوند. شماتیک مدل فازی در شکل ۵ نشان داده شده است.

در این پژوهش برای بهبود کار و به‌دست آوردن نتایج درست در مجموعه صنعتی کیهان صنعت قائم مدیریت تولید، پشتیبانی و حمایت لازم را انجام داد، کارشناسان و متخصصین آشنا با ماشین‌های CNC هم با تیم FMEA همفکری کردند. تیم FMEA که عموماً از متخصصان ساخت، تعمیر و تحلیل‌گران ایمنی ماشین‌های CNC بودند با استفاده از عبارت‌های زبانی، S، O و D را برای حالت‌های خرابی اجزاء تعیین کردند. اعضای تیم کاربرگ FMEA را برای هر زیر سیستم تکمیل و هر شکست را با توجه به حساسیت اثر شکست و احتمال وقوع آن با استفاده از RPN رتبه‌بندی کردند. در ادامه قواعد اگر– آنگاه با عبارت‌های زبانی به‌عنوان ورودی‌های ارزیابی ریسک در نظر گرفته شد. عدد RPN فازی به‌دست آمده به‌عنوان خروجی استنتاج فازی سیستم که بر پایه قواعد می‌باشد در نظر گرفته شد. جدول ۱ مقادیر مختلفی را برای تعیین مقیاس پارامترهای S، O و D نشان می‌دهد (Renjith *et al.*, 2018). با استفاده از این مقیاس‌ها می‌توان پارامترهای S، O و D را اندازه‌گیری کرد.

شماتیکی از فرایند منطق فازی در شکل ۶ نشان داده شده است. کل فرآیند فازی‌سازی با استفاده از جعبه‌ابزار فازی در نرم‌افزار Matlab انجام شد که در آن از تابع عضویت گوسی برای نشان دادن پارامترهای ورودی S، O و D استفاده شد. در شکل ۷ به‌عنوان نمونه تصویر تابع عضویت گوسی برای پارامتر ورودی S نشان داده شده است. همچنین از تابع عضویت گوسی برای نشان دادن تابع عضویت خروجی مربوطه[2] در شکل ۸ استفاده شد.



شکل ۵– مدل مربوط به سیستم منطق فازی (Panchal and Kumar, 2016)

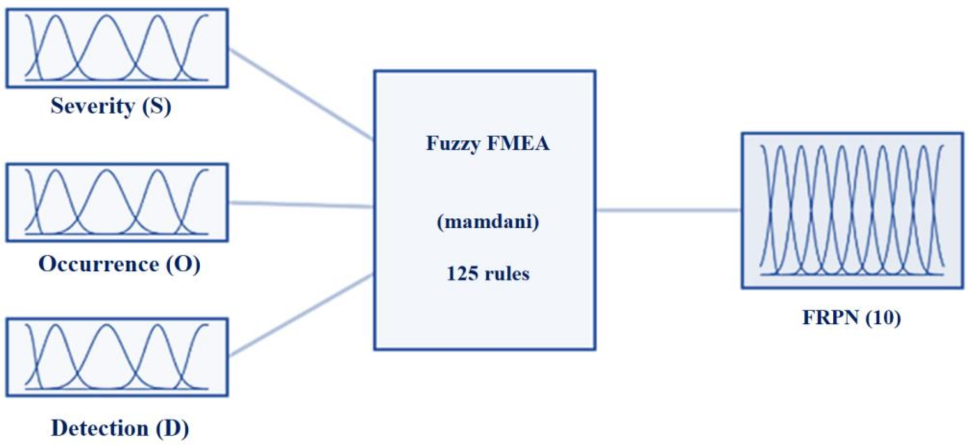
Fig. 5. The model of the fuzzy logic system

1- Crisp data

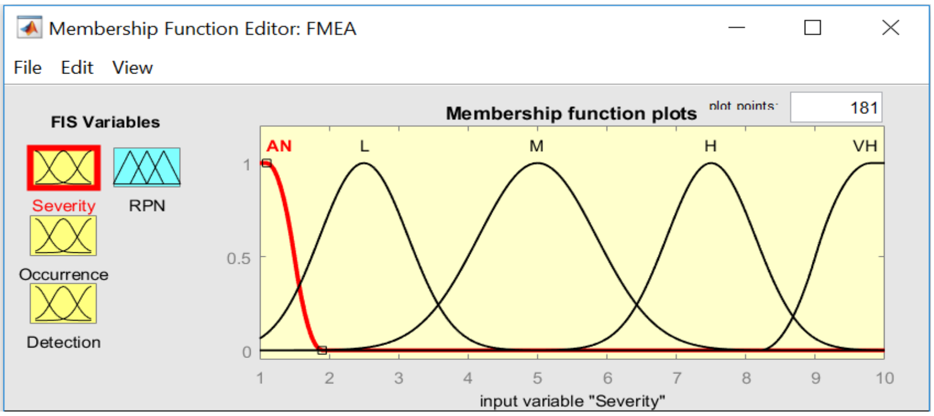
2- FRPN

جدول ۱– متغیرهای زبانی تعریف شده در روش FMEA فازی
Table 1- Linguistic variable define in fuzzy FMEA method

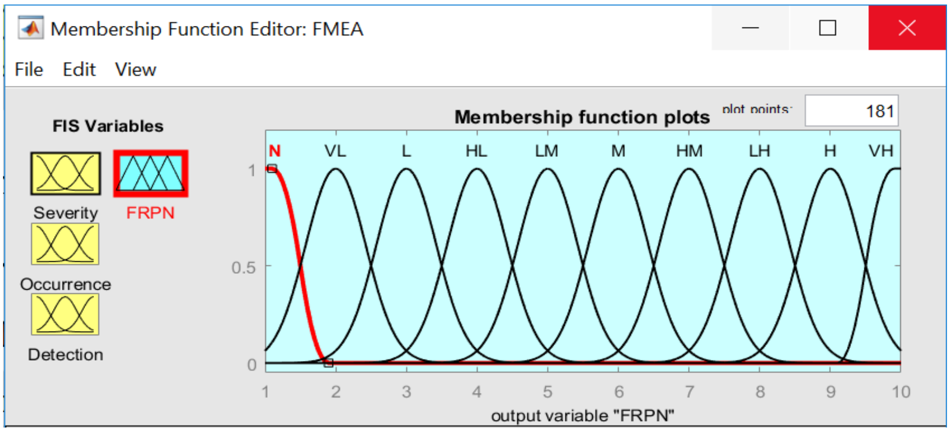
متغیرهای زبانی Linguistic variables	عدد فازی Fuzzy number	شدت Severity	احتمال وقوع Occurrence	عدم تشخیص Detection
خیلی کم Very Low (VL)	1 , 2	بی خطر Not hazard	شکست بعید است Failure is unlikely	تقریباً مطمئن Almost certainty
کم Low (L)	3 , 4	خطر کم Low hazard	شکست نسبتاً کم Relatively few failures	شانس بالا High chance
متوسط Medium (M)	5 , 6 , 7	خطر متوسط Medium hazard	شکست در بعضی اوقات Occasional failures	شانس متوسط Moderate chance
زیاد High (H)	8 , 9	خطر بالا High hazard	شکست‌های تکراری Repeated failures	شانس کم Remote chance
خیلی زیاد Very high (VH)	10	خطر بسیار بالا Very high hazard	شکست تقریباً اجتناب ناپذیر است Failure is almost inevitable	شانسی وجود ندارد No chance



شکل ٦– مدل FMEA فازی
Fig. 6. Fuzzy FMEA model



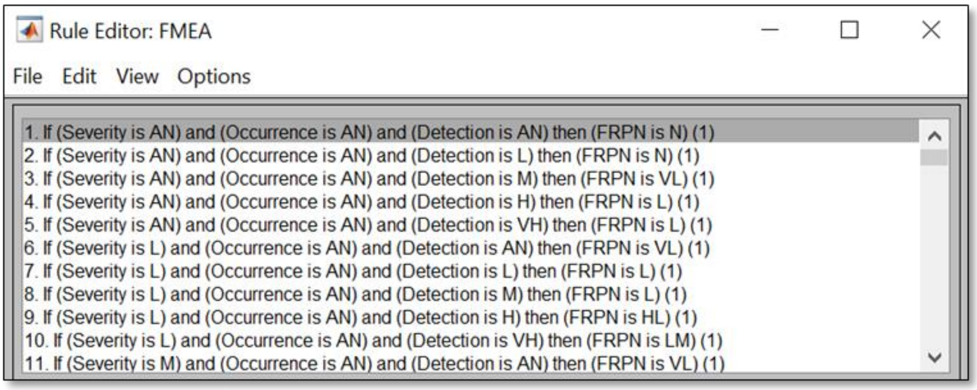
شکل ۷– تابع عضویت گوسی برای متغیر ورودی شدت
Fig. 7. Gaussian Membership functions for input variable ‘Severity’



شکل ۸– تابع عضویت گوسی برای متغیر خروجی FRPN

Fig. 8. Gaussian Membership functions for output variable ‘FRPN’

از قوانین برای استنتاج فازی و هدایت مقدار خروجی دریافتی استفاده می‌شود. همچنین این روش در فرآیند غیرفازی‌سازی برای تبدیل خروجی‌های فازی به FRPN به‌کار رفت. در شکل ۹ چند مورد از قواعدی به منظور کنترل مقادیر FRPN خروجی ایجاد شده نشان داده شده است.



شکل ۹– ایجاد قواعد به منظور کنترل مقادیر FRPN خروجی

Fig. 9. Creating rules used to control the output FRPN values

قوانین فازی با استفاده از کاربرانی که نسبت به سیستم دانش و تخصص دارند تعریف می‌شود. تعداد قوانین را می‌توان از حاصلضرب تعداد تابع عضویت‌های S، O و D در یکدیگر به‌دست آورد. در این پژوهش تعداد قواعد مورد استفاده برابر، ۱۲۵= ۵×۵×۵ می‌باشد. این قواعد برای کنترل مقدار خروجی، با ایجاد قانون‌هایی با استفاده از برنامه MATLAB تعریف می‌شوند. همچنین از حرف ربط "و" برای متصل کردن فاکتورها به مقدار خروجی برای کنترل مقدار FRPN که اهمیت سطوح ریسک را نشان می‌دهد، استفاده گردید (Chanamool and Naenna, 2016). ۱۲۵ قاعدهٔ اگر – آنگاه برای تجزیه و تحلیل ایجاد شد. این قوانین به گونه‌ای طراحی شده که شامل تمامی حالت‌های ممکن ترکیب S، O و D باشد. پایگاه قواعد ایجاد شده برای ارتباط S، O و D به FRPN در جدول ۲ ارائه شده است. برای استنتاج فازی از روش حداقل/ حداکثر ممدانی استفاده شد.

همانطور که ملاحظه شد با دریافت مقادیر جبری سه پارامتر S، O و D انجام محاسبات فازی بر اساس ۱۲۵ قاعده فازی مقادیر RPN فازی در خروجی و سپس غیر فازی‌سازی آن را انجام گرفت.

جدول ۲- پایگاه قواعد ایجاد شده برای ارتباط S، O و D به FRPN با استفاده از استنباط متخصصان

Table 2- Rule base developed for relating S, O &D to FRPN using expert elicitation

S	O	D	FRPN	S	O	D	FRPN	S	O	D	FRPN	S	O	D	FRPN	S	O	D	FRPN
1	1	1	1	2	1	1	1	3	1	1	2	4	1	1	1	5	1	1	2
1	1	2	1	2	1	2	1	3	1	2	2	4	1	2	2	5	1	2	2
1	1	3	2	2	1	3	2	3	1	3	3	4	1	3	3	5	1	3	3
1	1	4	3	2	1	4	3	3	1	4	4	4	1	4	4	5	1	4	3
1	1	5	3	2	1	5	3	3	1	5	5	4	1	5	1	5	1	5	4
1	2	1	2	2	2	1	2	3	2	1	3	4	2	1	2	5	2	1	3
1	2	2	3	2	2	2	3	3	2	2	4	4	2	2	3	5	2	2	4
1	2	3	3	2	2	3	4	3	2	3	5	4	2	3	4	5	2	3	4
1	2	4	4	2	2	4	5	3	2	4	6	4	2	4	1	5	2	4	5
1	2	5	5	2	2	5	6	3	2	5	7	4	2	5	2	5	2	5	6
1	3	1	2	2	3	1	4	3	3	1	5	4	3	1	3	5	3	1	4
1	3	2	3	2	3	2	5	3	3	2	6	4	3	2	4	5	3	2	4
1	3	3	3	2	3	3	6	3	3	3	7	4	3	3	5	5	3	3	5
1	3	4	4	2	3	4	7	3	3	4	8	4	3	4	6	5	3	4	6
1	3	5	4	2	3	5	8	3	3	5	9	4	3	5	7	5	3	5	7
1	4	1	3	2	4	1	5	3	4	1	3	4	4	1	5	5	4	1	5
1	4	2	4	2	4	2	6	3	4	2	4	4	4	2	6	5	4	2	6
1	4	3	5	2	4	3	7	3	4	3	5	4	4	3	7	5	4	3	7
1	4	4	6	2	4	4	8	3	4	4	7	4	4	4	8	5	4	4	8
1	4	5	7	2	4	5	9	3	4	5	8	4	4	5	9	5	4	5	9
1	5	1	4	2	5	1	5	3	5	1	8	4	5	1	6	5	5	1	7
1	5	2	5	2	5	2	5	3	5	2	6	4	5	2	7	5	5	2	8
1	5	3	6	2	5	3	6	3	5	3	7	4	5	3	8	5	5	3	9
1	5	4	7	2	5	4	9	3	5	4	8	4	5	4	9	5	5	4	10
1	5	5	9	2	5	5	9	3	5	5	9	4	5	5	10	5	5	5	10

S=Severity, O=Occurrence, D=NO detection, FRPN=Fuzzy risk priority number

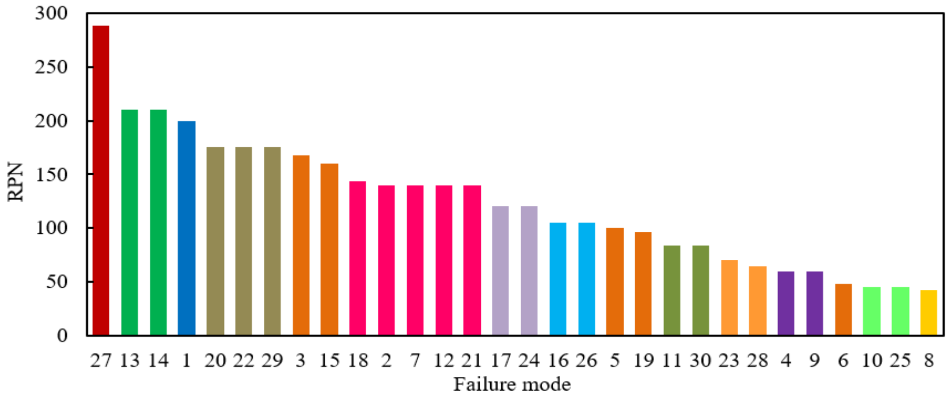
Almost none: 1, Low: 2, Medium: 3, High: 4, Very high: 5

None: 1 , Very low: 2 , Low: 3 , High low: 4 , Low medium: 5 , Medium: 6 , High medium: 7 , Low High: 8 , High: 9 , Very High: 10

نتایج و بحث

روش FMEA متداول

در روش متداول FMEA اولویت‌بندی خرابی‌ها پس از محاسبه عدد RPN انجام شد. نتایج اولویت‌بندی RPNهای روش متداول در شکل ۱۰ نشان داده شده است. با توجه به این شکل ملاحظه می‌شود ترکیبات مختلف متغیرهای ورودی در زیر سیستم‌ها دارای RPN برابر است که با رنگ‌های یکسان نشان داده شده، در صورتی که ممکن است مفاهیم خطر کاملاً متفاوتی از یک‌دیگر داشته باشند. در روش متداول پارامترهای ورودی با اهمیت نسبی یکسانی در نظر گرفته شده، در صورتی‌که در واقعیت، درجه اهمیت و وزن این پارامترها می‌تواند متفاوت باشد. همچنین در این رویکرد روش محاسبه نمره اولویت ریسک تنها حاصلضرب مستقیم ورودی می‌باشد و روابط غیرمستقیم بین متغیرها را مد نظر قرار نمی‌دهد، این موارد از ضعف‌های این روش می‌باشند. نتایج این پژوهش در این قسمت با نتایج لیو و همکاران (۲۰۱۳)، که دریافتند ترکیب‌های مختلف سه پارامتر ممکن است مقدار RPN دقیقاً یکسانی تولید کند، در حالی‌که احتمال دارد عملکردهای ریسک در کل متفاوت باشد همخوانی دارد.

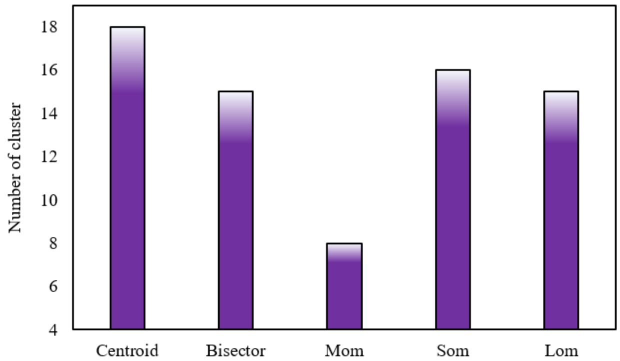


شکل ۱۰– نمودار اولویت بندی اجزای مکانیکی تراش CNC با استفاده از روش FMEA متداول

Fig. 10. Prioritization plot of CNC lathe machine components using conventional FMEA method

روش FMEA فازی

نتایج غیرفازی سازی مقادیر خروجی سیستم فـازی (FRPN) بـا استفاده از ۵ روش غیرفـازی سـازی در شـکل ۱۱ ارائـه شـده اسـت. مطابق بـا شـکل ۱۱ روش centroid بـه دلیـل اینکـه توانسـته زیـر سیستم‌ها را در ۱۸ گروه ریسکی گروه‌بندی کند، در مقایسه بـا نتـایج سایر روش‌ها به‌عنوان بهترین روش غیرفازی‌سازی انتخاب شد.



شکل ۱۱– نمودار مقایسه انواع روش‌های مختلف غیرفازی سازی

Fig. 11. Comparison plot of different types defuzzification methods

در ادامه برای انتخاب بهترین تابع عضویت برای پارامترهای S، O، D و مقدار خروجی FRPN، ترکیب‌های مختلفی از تابع عضویت‌ها استفاده شد که نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است. مطابق با نتایج جدول ۳، تنها زمانی می‌توان ۳۰ زیر سیستم را در ۳۰ گروه ریسکی گروه‌بندی کرد که برای تمام پارامترها و مقدار خروجی از تابع عضویت گوسی استفاده کنیم و این بهترین ترکیب برای تابع عضویت می‌باشد.

جدول ۳– ترکیب‌های مختلف تابع عضویت‌ها برای پارامترهای S، O، D و مقدار خروجی FRPN

Table 3- Different blends of membership function for S, O and D parameters and FRPN output values

Severity	Occurrence	Detection	FRPN	Number of cluster
Trimf	Trimf	Trimf	Trimf	18
Gbellmf	Trimf	Trimf	Trimf	28
Trimf	Gbellmf	Trimf	Trimf	24
Trimf	Trimf	Gbellmf	Trimf	29
Trimf	Trimf	Trimf	Gbellmf	18
Gaussmf	Trimf	Trimf	Trimf	28
Trimf	Gaussmf	Trimf	Trimf	25
Trimf	Trimf	Gaussmf	Trimf	27
Trimf	Trimf	Trimf	Gaussmf	18
Gaussmf	Gaussmf	Gaussmf	Gaussmf	30
Gbellmf	Gbellmf	Gbellmf	Gbellmf	26
Gauss2mf	Gauss2mf	Gauss2mf	Gauss2mf	28
Pimf	Pimf	Pimf	Pimf	16

نتایج حاصل از پیاده‌سازی روش FMEA فازی برای اجزای مکانیکی ماشین تراش دو محوره CNC در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج نشان داد زیرسیستم‌های ۲۷، ۱۴ و ۳ به‌ترتیب دارای بالاترین درجه بحرانیت خرابی می‌باشند. با بررسی علل خرابی مشخص شد که عمده خرابی‌ها در اجزای مکانیکی ناشی از عواملی چون عدم روغن‌کاری به موقع و مناسب، اتمام عمر کارکردی، فشار مضاعف کارکردی، فرسودگی، خوردگی و عدم نظافت‌کاری مناسب می‌باشد. این نتیجه با نتایج تحقیقات محققان مختلفی همچون (Mishra *et al.*, 2017)، (Salvi, 2017) و (Yang *et al.*, 2010) همخوانی دارد.

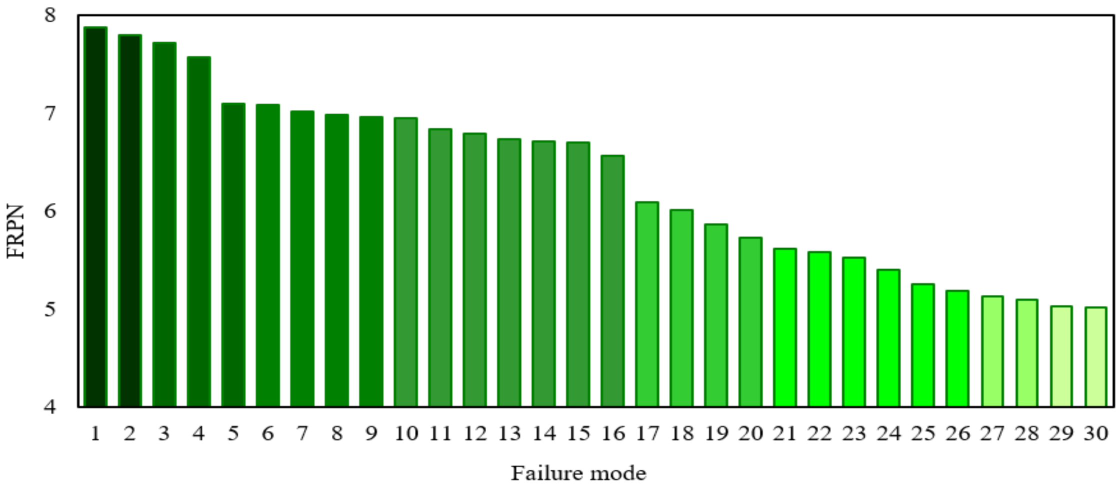
جدول ٤– FMEA فازی ماشین CNC تراش

Table 4– Fuzzy FMEA of the CNC lathe machine

NO.	نام قطعه **Subsystem**	حالات بالقوه خرابی **Potential failure modes**	علل بالقوه‌ٔ خرابی **Potential effect(s) of failure**	Fuzzy **RPN**	 **Rank**
1	الکتروموتور Electro-Motor	صدای غیر عادی، لرزش، آمپر کشیدن زیاد.	خرابی یا سایش شافت، خرابی بلبرینگ، خرابی پروانه خنک‌کننده، گریس کاری به موقع بلبرینگ‌ها.	7.10	5
2	پمپ هیدرولیک Hydraulic pump	افت فشار، صدای غیر عادی.	خرابی کارکردی (عمر)، وجود ذرات در مخزن روغن، استفاده از ماکزیمم فشار پمپ.	6.84	11
3	اتصالات Fittings	هشدار آلارم مربوطه، افت فشار.	اتمام عمر مفید کارکردی.	7.72	3
4	فیلتر Filter	عدم نمایش فشار،گیج از دامنه نشانگر خارج شده باشد.	فشار بیش از حد مجاز، درست نصب نکردن گیج.	5.10	28
5	فشار شکن pressure reducing	در حین تنظیم پیچ تنظیم، تغییر فشار نداریم.	استفاده نادرست از آن.	5.73	20
6	گیج فشار Pressure gauge	نشتی، هرز شدن رزوه در اثر باز و بست زیاد، خرابی ممه‌ای.	باز و بست زیاد بسته به میزان دسترسی، فرسودگی.	5.13	27
7	شیر کنترل فشار Pressure Control Valve	عملکردش دچار نشتی جزئی شده باشد، خرابی بوبین برقی.	خرابی فرمان برقی، خرابی اسفول، خرابی اورینگ.	6.95	10
8	مخزن روغن Oil tank	تخلیه روغن، افت فشار روغن، اختلال در عملکرد سیستم.	سوراخ بودن مخزن یا بسته بودن مجاری آن، خرابی گیج روغن.	5.03	29
9	فلو کنترل باد Air Flow Control	تأثیر روی قطع کار، در بعضی مواقع موجب توقف دستگاه می‌گردد.	اتمام عمر کارکردی، ذرات وارد مجرا شود.	5.25	25
10	واحد مراقبت Air treatment unit	قطع فشار باد، رطوبت داشتن باد سیستم، افت فشار.	کیفیت پایین جنس، عمر کارکردی تمام شود، رطوبت سیستم زیاد باشد.	5.02	30
11	تارت Turret	اختلال در چرخش و نگهداشتن اینسرت	فرسودگی، اتمام عمر کارکردی، برخور با تجهیزاتی مانند اکسپنشن و ماندریل.	5.40	24
12	بال اسکرو Ballscrew	عدم کیفیت قطعه به لحاظ ابعادی و صافی سطح.	عدم روغن‌کاری و گریس‌کاری به موقع، فشار بیش از حد ماشین‌کاری، برخورد محور با قطعه کار دستگاه.	6.96	19
13	کوپلینگ Coupling	تغییر در اندازه قطعه کار.	فشار مضاعف کارکردی، خرابی لاستیک‌های کوپلینگ، خرابی پنجه‌ای.	6.98	8
14	لاینر گاید Linear guideway	دقت دستگاه کاهش می‌یابد، ارتعاش و لرزش محورها.	ورود ذرات و پلیسه به داخل آن، عدم روغن‌کاری و گریس‌کاری به موقع، فشار بیش از حد ماشین‌کاری.	7.80	2
15	اسلاید گاید Slide guide	ایجاد اختلال در حرکت ساپورت‌ها. اختلال در عملکرد ریل.	خوردگی ریل‌ها در اثر کارکرد.	6.70	15
16	میز محور Axis table	اختلال در عملکرد میز محور.	خرابی جک‌های هیدرولیک یا پنومات یا بال اسکرو بسته به نوع استفاده، خرابی ساچمه در بال اسکرو و پکینگ در جک‌ها.	6.01	18
17	کاور تلسکوپی Telescopic cover	ورود ذرات در اجزاء و بخش‌های داخلی.	فرسودگی، خرابی نوارهای لاستیکی، عدم نظافت صحیح.	5.62	21
18	پمپ روغن Oil pump	فشار روغن کم می‌شود، نچرخیدن تارت، زمان تعویض قلم زیاد است.	استهلاک، عمر مفید تمام شده، خرابی کاسه نمد.	6.79	12
19	اتصالات روان‌کاری Lubrication Fittings	مصرف زیاد روغن، افت فشار.	استهلاک، جنس نامرغوب.	5.86	19
20	نازل‌های روان‌کاری Lubrication nozzle	خرابی بال اسکرو، ریل و غیره.	خرابی آب بندها، ورود پلیسه و ذرات که باعث مسدود شدن مسیرها و خرابی پکینگ می‌شود.	7.02	7
21	سیستم روان‌کاری گیربکس Gearbox Lubrication System	موجب خرابی چرخ‌دنده می شود.	ورود ذرات، خرابی پمپ روغن، خرابی اتصالات.	6.71	14
22	مقسم روغن Oil divider	خرابی بال اسکرو، ریل و غیره.	خرابی آب‌بندها، ورود پلیسه و ذرات که باعث مسدود شدن مسیرها و خرابی پکینگ می‌شود.	7.08	6
23	پمپ کولانت Coolant pump	حالت لغزندگی را ایجاد نمی‌کند که الماس‌ها تراش بدهند در نتیجه کار دستگاه متوقف می‌شود.	مسدود شدن مسیر آب و صابون، وجود پلیسه در آب و صابون، سوختن موتور، خرابی خود پمپ.	6.56	16

24	سیستم خنک‌کننده گیربکس اسپیندل Spindle gearbox cooling system	بالارفتن دمای گیربکس اسپیندل و اختلال در عملکرد اسپیندل.	اتمام عمر کارکردی، کثیف شدن فن توسط آلاینده‌ها، سوختن فن بر اثر کارکرد زیاد.	6.73	13
25	فن خنک‌کننده Cooling Fan	بالارفتن دمای اجزای مرتبط	خرابی بلبرینگ فن، اتمام عمر کارکردی، کثیف شدن فن توسط آلاینده‌ها، سوختن فن بر اثر کارکرد زیاد.	5.19	26
26	اسپیندل Spindle	دقت کار از بین می‌رود.	خرابی بلبرینگ سر موتور، گشاد شدن کاسه سر موتور، خراب شدن رزوه سر اسپیندل، خرابی رزوه های پایه موتور، شکستن پروانه خنک کننده، سوختن سیم پیچ موتور.	6.09	17
27	گیربکس Gearbox	اسپیندل متوقف می‌شود.	اتمام عمر کارکردی، خرابی چرخ‌دنده‌ها، عدم روغن‌کاری مناسب.	7.88	1
28	کلمپ Clamp	شکستن ابزار.	خرابی شیر هیدرولیک، پایین بودن فشار هیدرولیک، خرابی پکینگ داخل جک، خرابی کاسه نمد سر شافت، خرابی اورینگ داخل جک.	5.58	22
29	کانوایر Conveyor	صدای غیر عادی، لرزش، آمپر کشیدن زیاد.	ورود حجم پلیسه زیاد، فرسودگی ناودانی یا ریل کانوایر، خرابی برنجی یا چرخدنده، خرابی زنجیر کانوایر.	7.57	4
30	کولت Collet	نگرفتن قطعه کار، توقف ماشین.	میزان براده برداری بیش از حد، برخورد ابزار با اکسپنشن.	5.52	23

نتایج حاصل از پیاده‌سازی روش FMEA فازی برای اجزای مکانیکی ماشین تراش دو محوره CNC در شکل ۱۲ ارائه شده است. مطابق با شکل ۱۲ همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، اولویت زیر سیستم‌ها در روش فازی با یک‌دیگر متفاوت است. ۳۰ زیر سیستم اجزای مکانیکی تراش CNC در روش فازی در ۳۰ گروه ریسکی گروه‌بندی شدند. مطابق با نتایج روش فازی توانست بر خلاف روش متداول، زیرسیستم‌ها را در ۳۰ گروه ریسکی گروه‌بندی کند، بنابراین روش فازی به نحوه بهتری زیر سیستم‌ها را به لحاظ اولویت خرابی گروه‌بندی می‌کند که این مطلب با نتیجه داگ سویو (۲۰۱۶)، مطابقت دارد. با به‌کارگیری این روش ابهامات موجود در قضاوت‌های ذهنی خبرگان و نبود قطعیت حاصل از آن برطرف شد و دقت، درستی و اعتبار ارزیابی افزایش یافت. مطابق با جدول نتایج ۴ عواملی همچون اتمام عمر مفید کارکردی، عدم روغن‌کاری مناسب، فشار بیش از حد ماشین‌کاری و ورود ذرات اضافی به‌عنوان عوامل عمده خرابی تجهیزات می‌باشند. همچنین در روش فازی زیر سیستم گیربکس با توجه به عدد FRPN به لحاظ اولویت خرابی، دارای بالاترین اولویت شد و در اولویت‌های بعدی زیر سیستم‌های لاینرگاید و اتصالات می‌باشد.

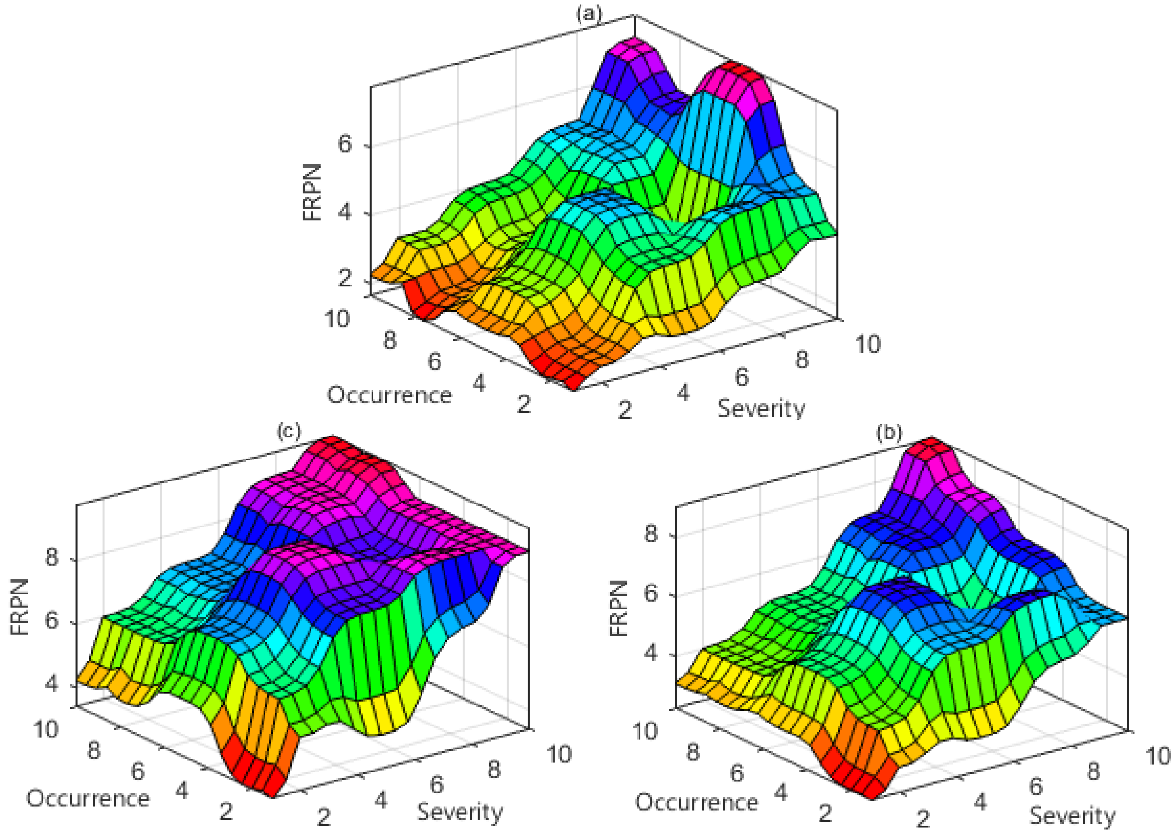


شکل ۱۲– نمودار اولویت‌بندی اجزای مکانیکی تراش CNC با استفاده از FRPN

Fig. 12. Prioritization plot of CNC lathe machine components using RPN and FRPN

بر اساس مدل قواعد ۳ نمودار سطح پاسخ سه‌بعدی مانند شکل ۱۳ a، b و c بین ورودی‌های شدت، احتمال وقوع و عدم تشخیص با خروجی FRPN می‌توان ایجاد کرد. این نمودارها به ما نشان می‌دهد که چگونه با تغییر ۲ پارامتر ورودی خروجی FRPN تحت تأثیر قرار می‌گیرد و این که کدام‌یک از پارامترهای ورودی دارای وزن بیشتر و کدام‌یک از طرح‌ها و ترکیبات مختلف بیشترین کمک را به FRPN می‌کند. در نمودارهای شکل ۱۳ (a) تغییرات S، O و D نسبت به FRPN را با فرض اینکه D برابر ۱، در حالت b با فرض اینکه D

برابر ۵ و درحالت c با فرض اینکه D برابر ۱۰ باشد در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که هرچه‌قدر S افزایش یابد، سطح ریسکی زیر سیستم نیز افزایش می‌یابد همین‌طور با افزایش O نیز FRPN افزایش می‌یابد ولی در مقایسه با این دو پارامتر اثر D محسوس‌تر و بیشتر است. به این معنی که تأثیر D در سطح ریسکی بالاست، به‌عبارت دیگر ما هرچه‌قدر نمایشگرهای خرابی و علائم هشداردهنده بیشتری در سیستم برای تشخیص به موقع خرابی داشته باشیم قطعاً ریسک پایین‌تر می‌آید. به‌طور مشابه در تحقیق (Renjith *et al.*, 2018) پارامتر ورودی Non-detection بیشترین اثر را روی مقدار خروجی داشت.

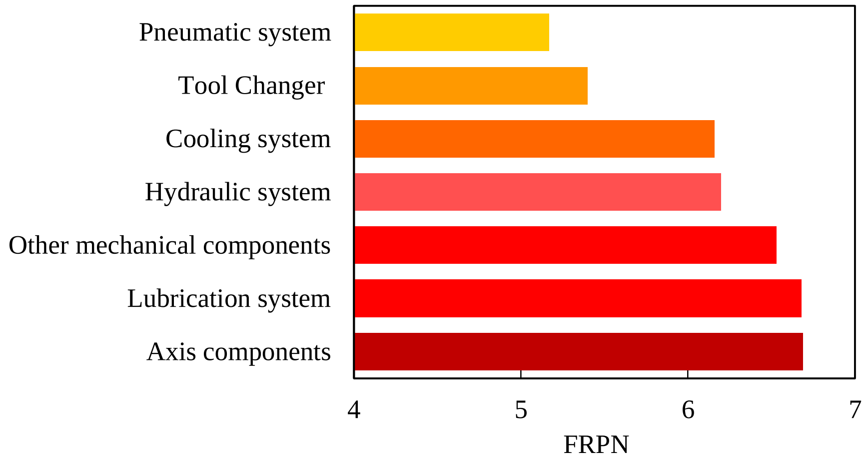


شکل ۱۳– نمودار تغییرات سطح پاسخ O، S و D در برابر FRPN

Fig. 13. Surface plot of changes O, S and D Vs FRPN

نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای غلبه بر کمبودهای روش مرسوم از روش FMEA فازی برای اولویت‌بندی خرابی تجهیزات مکانیکی ماشین تراش CNC استفاده شد و نتایج به‌دست آمده از روش FMEA فازی اولویت‌بندی گردید. مقادیر FRPN سیستم‌های مکانیکی ماشین تراش CNC در شکل ۱۴ ارائه شده است. مطابق با شکل ۱۴ اجزای مکانیک ماشین تراش CNC از ۷ سیستم اصلی تشکیل شده که هرکدام از این سیستم‌ها از زیر سیستم‌هایی تشکیل شده‌اند.



شکل ١٤– مقادیر FRPN سیستم‌های مکانیکی ماشین تراش CNC

Fig. 14. CNC lathe machines mechanical system FRPN values

در میان سیستم‌های مکانیکی تراش CNC اجزای محورها و سیستم روان‌کاری به‌ترتیب دارای بیشترین مقادیر FRPN و بحرانی‌تر می‌باشند. با به‌کاربردن روش این پژوهش که FMEA فازی است، مشکلات کارشناسان برای رتبه‌بندی حالت‌های بحرانی برطرف شده در واقع استفاده از متغیرهای زبانی خبرگان را قادر کرد تا قضاوت واقعی‌تری را از اجزای مکانیک تراش CNC داشته و در نتیجه نتایج اولویت‌بندی حالت‌های خرابی نسبت به روش مرسوم واقعی‌تر و ملموس‌تر می‌باشد. همچنین با استفاده از این روش مشکلات و محدودیت‌های روش مرسوم کاهش یافت و به‌طور مؤثرتر و کارآمدتری حالت‌های خرابی اولویت‌بندی شد. در نتیجه دقت و درستی نتایج ارزیابی ریسک افزایش یافت. FMEA فازی می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مؤثر برای اولویت‌بندی حالت‌های خرابی بحرانی اجزای مکانیکی تراش CNC به‌کار رود و بستر مناسبی را برای برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات جهت به‌کاربردن اقدامات اصلاحی مناسب فراهم کند که در نتیجه موجب افزایش قابلیت اطمینان در فرآیند ماشین‌کاری خواهد شد.

سپاسگزاری

ما نویسندگان این پژوهش بر خود لازم می‌دانیم که از جناب آقای مهندس نمازی مدیر عامل محترم، آقای مهندس اکبرپور مدیر تولید و جناب آقای دولت دوست و دیگر اعضای تیم نگهداری و تعمیرات شرکت کیهان صنعت قائم بابت فرصتی که جهت انجام این پژوهش در اختیار ما قرار دادند، نهایت تشکر و قدردانی را بنماییم که حقیقتاً بدون کمک این عزیزان امکان انجام این تحقیق میسر نبود.

References

1. Chanamool, N., and T. Naenna. 2016. Fuzzy FMEA application to improve decision-making process in an emergency department. Applied Soft Computing 43: 441-453.
2. Chin, K. S., A. Chan, and J. B.Yang. 2008. Development of a fuzzy FMEA based product design system. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 36: 633-649.
3. Chiu, H. W., and C. H. Lee. 2017. Prediction of machining accuracy and surface quality for CNC machine tools using data driven approach. Advances in Engineering Software 114: 246-257.
4. Dağsuyu, C., E. Göçmen, M. Narlı, and A. Kokangül. 2016. Classical and fuzzy FMEA risk analysis in a sterilization unit. Computers & Industrial Engineering 101: 286-294.
5. Ebrahemzadih, M., G. Halvani, B. Shahmoradi, and O. Giahi. 2014. Assessment and risk management of potential hazards by failure modes and effect analysis (FMEA) method in Yazd Steel Complex. Open Journal of Safety Science and Technology 4: 127.
6. Guimarães, A. C. F., and C. M. F. Lapa. 2007. Fuzzy inference to risk assessment on nuclear engineering systems. Applied Soft Computing 7: 17-28.
7. Gupta, G., and R. Mishra. 2017. A Failure Mode Effect and Criticality Analysis of Conventional Milling Machine Using Fuzzy Logic: Case Study of RCM. Quality and Reliability Engineering International 33: 347-356.
8. Kamalnia, H., and H. Amjad Sardroodi. 2011. Risk assessment of milling machines and Corundum of the industrial production unit of an industry in the year 88. 7th Congress of Occupational Health and Safety.

9. Karbasian, M., B. Khayambashi, O. Yousefi, and P. Naseri. 2016. Assessment and Improvement of the Relability of the Pellets 23 MM Gun Tube Using Bayesian Networks and Fuzzy Failure Mode and Effect Analysis.
10. Lata, S., A. Gupta, A. Jain, S. Kumar, A. Srivastava, R. Rana, and R. Lal. 2016. A Review on Experimental Investigation of Machining Parameters during CNC Machining of OHNS. International Journal of Engineering Research and Applications 6: 63-71.
11. Li, H., F. Chen, Z. Yang, L. Wang, and Y. Kan. 2016. Failure mode analysis on machining center based on possibility theory, Proceedings of the 5th International Conference on Electrical Engineering and Automatic Control. Springer, pp. 627-636.
12. Liu, H. C., L. Liu, and N. Liu. 2013. Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review .Expert Systems with Applications 40: 828-838.
13. Mandal, S., and J. Maiti. 2014. Risk analysis using FMEA: Fuzzy similarity value and possibility theory based approach. Expert Systems with Applications 41: 3527-3537.
14. Mishra, C. S., F. Ali, and S. Adam. 2017. Study of the causes of engine failure in ship and maintenance required to prevent engine failure. International Journal of Contemporary Research and Review 8.
15. Namdari, A., S. Rafiei, and A. Jafari. 2011. Using the failure modes and effects analysis (FMEA) to perform optimal Moldboard plow. Journal of Agricultural Machinery 1 (1): 17-24. (In Farsi).
16. Panchal, D., and D. Kumar. 2016. Integrated framework for behaviour analysis in a process plant. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 40: 147-161.
17. Renjith, V., P. H. Kumar, and D. Madhavan. 2018. Fuzzy FMECA (failure mode effect and criticality analysis) of LNG storage facility. Journal of Loss Prevention in the Process Industries.
18. Salvi, R. K. 2017. Failure Mode and Effect Analysis for CNC machines used in GG Valves Industry. MPUAT, Udaipur.
19. Shahriar, A., R. Sadiq, and S. Tesfamariam. 2012. Risk analysis for oil & gas pipelines: A sustainability assessment approach using fuzzy based bow-tie analysis. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 25: 505-523.
20. Shukla, S. K., S. Kumar, P. Selvaraj, and V. S. Rao. 2014. Integrated logistics system for indigenous fighter aircraft development program. Procedia Engineering 97: 2238-2247.
21. Wang, X., Y. Zhang, and G. Shen. 2016. An improved FMECA for feed system of CNC machining center based on ICR and DEMATEL method. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 83: 43-54.
22. Yang, Z., B. Xu, F. Chen, Q. Hao, X. Zhu, and Y. Jia. 2010. A new failure mode and effects analysis model of CNC machine tool using fuzzy theory, Information and Automation (ICIA), 2010 IEEE International Conference on. IEEE, pp. 582-587.
23. Yazdi, M., S. Daneshvar, and H. Setareh. 2017. An extension to fuzzy developed failure mode and effects analysis (FDFMEA) application for aircraft landing system. Safety Science 98: 113-123.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 9, No. 2, Fall - Winter 2019, p. 399-414

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۹، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۸، ص ۴۱۴-۳۹۹

Prioritization and Evaluation of Mechanical Components Failure of CNC Lathe Machine based on Fuzzy FMEA Approach

A. Vaysi[1]- A. Rohani[2*]- M. Tabasizadeh[3]- R. Khodabakhshian[3]- F. Kolahan[4]

Received: 29-05-2018
Accepted: 06-08-2018

Introduction

In recent years, with development of industrial products with complex and precise systems, the demand for CNC machines has been increasing, and as its technology has been progressed, more failure modes have been developed with complex and multi-purpose structures. The necessity of CNC machines' reliability is also more evident than ever due to its impact on production and its implementation costs. Aiming at reducing the risks and managing the performance of the CNC machine parts in order to increase the reliability and reduce the stop time, it is important to identify all of the failure modes and prioritize them to determine the critical modes and take the proper cautionary maintenance actions approach.

Materials and Methods

In this study, conventional and fuzzy FMEA, which is a method in the field of reliability applications, was used to determine the risks in mechanical components of CNC lathe machine and all its potential failure modes. The extracted information was mainly obtained by asking from CNC machine experts and analysts, who provided detailed information about the CNC machining process. These experts used linguistic terms to prioritize the S, O and D parameters. In the conventional method, the RPN numbers were calculated and prioritized for different subsystems. Then in the fuzzy method, first the working process of the CNC machine and the mechanism of its components were studied. Also, in this step, all failure modes of mechanical components of the CNC and their effects were determined. Subsequently, each of the three parameters S, O, and D were evaluated for each of the failure modes and their rankings. For ranking using the crisp data, usually, the numbers in 1-10 scale are used, then using linguistic variables, the crisp values are converted into fuzzy values (fuzzification). 125 rules were used to control the output values for correcting the input parameters (Inference). For converting input parameters to fuzzy values and transferring qualitative rules into quantitative results, Fuzzy Mamdani Inference Algorithm was used (Inference). In the following, the inference output values are converted into non-fuzzy values (defuzzification). In the end, the fuzzy RPNs calculated by the fuzzy algorithm and defuzzified are ranked.

Results and Discussion

In conventional FMEA method, after calculating the RPNs and prioritizing them, the results showed that this method grouped 30 subsystems into 30 risk groups due to the RPN equalization of some subsystems, while it is evident that by changing the subsystem, the nature of its failure and its severity would vary. Therefore, this result is not consistent with reality. According to the weaknesses of this method, fuzzy logic was used for better prioritization. In the fuzzy method, the results showed that, in the 5-point scale, with the Gaussian membership function and the Centroid defuzzification method, it was able to prioritize subsystems in 30 risk groups. In this method, gearboxes, linear guideway, and fittings had the highest priority in terms of the criticality of failure, respectively.

Conclusions

The results of the fuzzy FMEA method showed that, among the mechanical systems of CNC lathe machine, the axes components and the lubrication system have the highest FRPNs and degree of criticality, respectively. Using the fuzzy FMEA method, the experts' problems in prioritizing critical modes were solved. In fact, using the linguistic variables enabled experts to have a more realistic judgment of CNC machine components, and thus, compared to the conventional method, the results of the prioritization of failure modes are more accurate, realistic and sensible. Also, using this method, the limitations of the conventional method were reduced, and failure modes were prioritized more effectively and efficiently. Fuzzy FMEA is found to be an effective tool for prioritizing critical failure modes of mechanical components in CNC lathe machines. The results can also be used in arranging maintenance schedule to take corrective measures, and thereby, it can increase the reliability of the machining process.

Keywords: CNC lathe machine, Fuzzy FMEA, Mechanical parts, Prioritizing, Risk management

---

1, 2 and 3- M.Sc. Student, Associate Professor and Assistant Professor, Respectively, Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
4- Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: arohani@um.ac.ir)